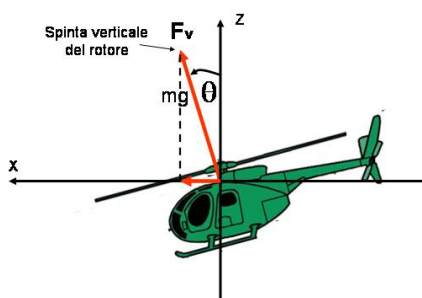


Corso di laurea in Ingegneria dell'Informazione
Prova di laboratorio di Fondamenti di Automatica

Svolgere i seguenti esercizi, facendo uso dei pacchetti MATLAB e SIMULINK. È richiesta una breve relazione, corredata del codice usato e dei grafici prodotti, con un commento dei passi svolti e dei risultati conseguiti. La relazione va spedita tramite posta elettronica in formato pdf all'indirizzo `schenato@dei.unipd.it`

Il controllo della posizione orizzontale in un elicottero è ottenuta inclinando veicolo (beccheggio) rispetto alla verticale di un sistema fisso. Un modello semplificato per la dinamica dell'elicottero lungo l'asse x è presentato nella seguente figura. Il rotore genera una forza



verticale F_v tale da bilanciare il peso dell'elicottero, cioè $F_v = mg$, dove $m = 2500 [kg]$ è la massa dell'elicottero e $g = 9.8 [m/sec^2]$ è la costante gravitazionale. Questa forza verticale è sempre perpendicolare rispetto al piano di rotazione del rotore, quindi una rotazione θ dell'elicottero rispetto all'asse verticale terrestre genera una forza orizzontale:

$$F_x = F_v \sin(\theta) = mg \sin(\theta)$$

che permette all'elicottero di muoversi lungo l'asse x . Il pilota dell'elicottero può controllare il momento torcente τ_θ per poter ruotare il corpo dell'elicottero, la cui dinamica è data da:

$$J\ddot{\theta} = \tau_\theta$$

dove $J = 2500 [kg.m^2]$ è il momento di inerzia dell'elicottero rispetto all'asse di rotazione del beccheggio. Si supponga di poter controllare direttamente il momento torcente, cioè $u = \tau_\theta$, e di poter misurare l'angolo di rotazione θ e la posizione dell'elicottero x rispetto al suolo. Si vuole progettare un controllore che permetta l'inseguimento di un segnale di riferimento r che indica la posizione desiderata dell'elicottero rispetto al suolo. Si supponga che l'attrito dell'aria sull'elicottero sia trascurabile. Si procede come segue:

- si trovino le equazioni della dinamica della posizione x e dell'orientamento θ dell'elicottero e si linearizzi in sistema attorno al punto di equilibrio $(\theta, x) = (0, 0)$ (vedi Fig. 1-a). Si tracci la risposta a gradino di ampiezza $100 N.m$ e si verifichi che coincida con quello in Fig. 2.
- si proceda alla progettazione del controllore C_1 tale che:
 - abbia struttura PD, $C_1(s) = K_p + K_d s$.
 - i poli del sistema in catena chiusa della funzione di trasferimento da momento torcente ad angolo θ siano $p_{1,2} = -4 \pm 4i$.
- si calcolino il tempo di assestamento di θ a zero, assumendo di applicare un impulso unitario all'ingresso della coppia τ_θ come indicato in Fig. 1-b.

- d. Si calcoli la funzione di trasferimento P_θ^c del sistema a catena chiusa dello stabilizzatore di orientamento, come indicato in Fig. 1-c e si consideri il nuovo processo $P_{\theta,x}^c = P_\theta^c P_x$. Si progettino il controllore $C_2(s)$, in modo tale da soddisfare le seguenti specifiche:
- struttura: filtro zero-polo
 - errore di inseguimento e al gradino unitario r nullo a regime (vedi Fig. 1-c).
 - massima sovraelongazione $S \leq 60\%$
 - minimizzi il tempo di assestamento, che deve essere comunque inferiore a $t_s \leq 8sec$.
- e. si applichi un disturbo esterno $d = A \sin(\omega t)$ che simuli l'effetto del vento, dove $A = 10^4 [N.m]$ e $\omega = 0.5 [rad/s]$ e si confronti l'uscita x per il sistema linearizzato e non-lineare. Si ripeta la simulazione con $A = 10^4 [N.m]$ e $\omega = 5 [rad/s]$
- f. E' possibile trovare un controllore C_2 (non necessariamente zero-polo) che riduca il tempo di assestamento del sistema complessivo ad un valore inferiore a quello di assestamento dell'angolo θ ottenuto con il controllore C_1 ? Perche'? Si dia una spiegazione intuitiva. (Suggerimento: ci si aiuti provando diversi controllori con *SISOtool*. Si osservi che la posizione x dell'elicottero e' controllata indirettamente controllando l'angolo θ , quindi).

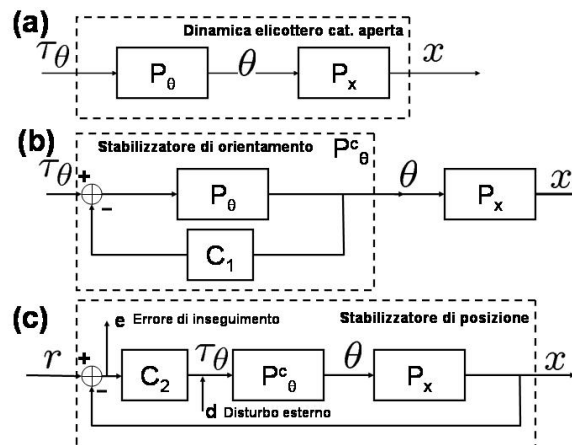


Figura 1: Diagramma a blocchi della dinamica dell'elicottero e dei controllori

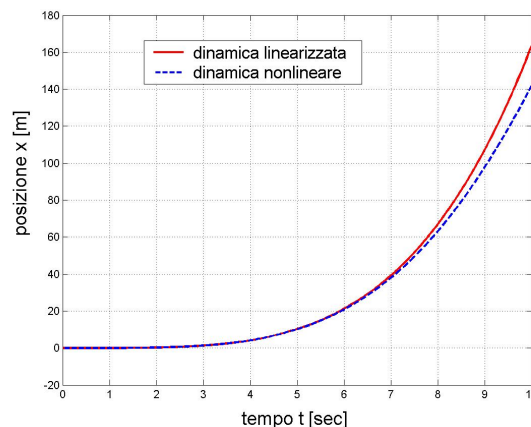


Figura 2: Risposta in catena aperta del sistema nonlineare e linearizzato